

Politechnika Wrocławska

Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów

KIERUNEK: Automatyka i Robotyka (AIR)
SPECJALNOŚĆ: Robotyka (ARR)

PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA

TYTUŁ PRACY:
Dalmierz ultradźwiękowy z mikrofonami
MEMS

AUTOR:
Krystian Mirek

PROMOTOR:
Dr inż. Bogdan Kreczmer,
Katedra Cybernetyki i Robotyki

Robert Muszyński, Roberto Orozco
Wrocław 2022



Szablon jest dostępny na licencji Creative Commons: *Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Polska*

Utwór udostępniany na licencji Creative Commons: uznanie autorstwa, na tych samych warunkach. Udziela się zezwolenia do kopiowania, rozpowszechniania i/lub modyfikacji treści utworu zgodnie z zasadami w/w licencji opublikowanej przez Creative Commons. Licencja wymaga podania oryginalnego autora utworu, a dystrybucja materiałów pochodnych może odbywać się tylko na tych samych warunkach (nie można zastrzec, w jakikolwiek sposób ograniczyć, ani rozszerzyć praw do nich). Tekst licencji jest dostępny pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.pl>. Podczas redakcji pracy dyplomowej notkę tę można usunąć, licencja dotyczy bowiem zredagowanego opisu, a nie samego latechowego szablonu. Szablon można wykorzystywać bez wzmiankowania o jego autorze.

Spis treści

1	Wstęp	4
2	Cel i założenia	5
3	Przegląd czujników ultradźwiękowych	6
3.1	Dobór odbiornika	6
3.2	Komercyjne rozwiązania	8
4	Analiza problemu	9
4.1	Generowanie i odbieranie sygnału ultradźwiękowego	9
4.2	Rozmieszczenie elementów nadawczych i odbiorczych	9
4.3	Komunikacja	10
5	Specyfikacja realizacji sonaru ultradźwiękowego	11
6	Projekt konstrukcji sonaru oraz protokoły komunikacji	12
6.1	Schemat funkcjonalny	12
6.2	Komunikacja	12
6.2.1	Wybór protokołu	12
6.2.2	Komputer → sonar	13
6.2.3	Sonar → komputer	14
6.3	Konstrukcja układów elektronicznych sonaru	14
6.3.1	Zasilanie	14
6.3.2	Nadajnik	14
6.3.3	Wzmacniacz nadajnika	15
6.3.4	Filtry sygnału audio	16
6.3.5	Progowanie sygnału	17
6.4	Konfiguracja mikrokontrolera	17
7	Realizacja sonaru ultradźwiękowego	20
7.1	PCB	20
7.2	Moduł nadawczo-odbiorczy	20
7.3	shield	20
8	Testy i eksperymenty	22
8.1	Test przetwornika piezoelektrycznego	22
8.2	Test wpływu odległości na sygnał	22
8.3	Pierwsze uruchomienie	23
8.4	Uruchomienie i test wzmacniacza sygnału przetwornika piezoelektrycznego	23
8.5	Test mikrofonów i filtrów	23

Spis treści	3
9 Podsumowanie i wnioski	25
Literatura	26
Spis rysunków	27
A Schematy i noty katalogowe	28

Rozdział 1

Wstęp

Celem rozdziału jest zaprezentowanie podstawowych informacji dotyczących dalmierzy ultradźwiękowych, zasady działania i ich zastosowania w przemyśle, nauce oraz życiu codziennym. Ma on również za zadanie przybliżyć rozwinięcia skrótów powszechnie używanych w tej dziedzinie.

Rozdział 2

Cel i założenia

Popularne dalmierze ultradźwiękowe wykorzystują przetworniki piezoelektryczne jako nadajniki i odbiorniki. Ich średnice wahają się w granicach od 10mm do 20mm. W przypadku prostych dalmierzy, gdy wyznaczana jest tylko odległość do obiektu, ich rozmiar nie jest krytyczny. Jednak w konstrukcjach sonarów ultradźwiękowych, które mają wyznaczyć również kierunek przylotu sygnału, rozmiar ten jest istotny. Jeżeli kierunek przylotu jest wyznaczany w oparciu o przesunięcie fazy odbieranego sygnału, wzajemna odległość odbiorników nie powinna przekraczać pół długości fali emitowanego sygnału. Wykorzystywane powszechnie przetworniki ultradźwiękowe pracują z częstotliwością 40kHz. Pół długości fali akustycznej w powietrzu dla tej częstotliwości to ok. 4,3 mm. Drugim warunkiem stosowalności tego podejścia jest to, aby odbiorniki sygnału można było modelować jako punkty materialne. Od strony technicznej oznacza to, że apertury tych odbiorników powinny być możliwe małe w stosunku do długości fali. Kryteriów tych nie spełniają popularne odbiorniki piezoelektryczne.

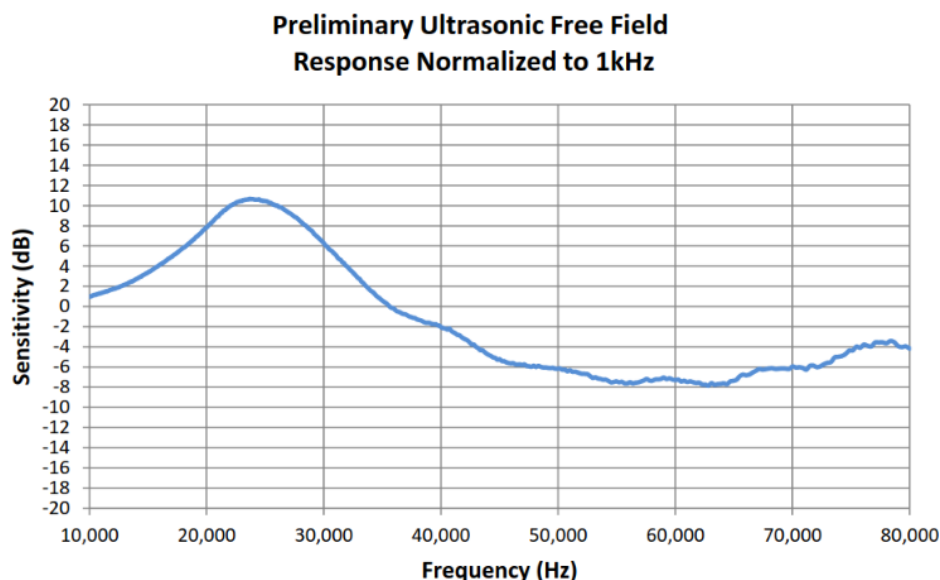
Celem niniejszej pracy jest konstrukcja sonaru pozwalającego wyznaczyć odległość do miejsca odbicia sygnału oraz kierunku nadejścia sygnału. Pozwalać ma to tym samym na precyzyjną lokalizację obiektu. Zakłada się, że źródłem sygnału będzie przetwornik piezoelektryczny pracujący z częstotliwością 40 kHz. Wyznaczanie kierunku przylotu ma zostać zrealizowane w oparciu o przesunięcie fazy odbieranego sygnału. Chcąc spełnić opisane powyżej warunki, jako odbiorniki zostaną zastosowane 3 mikrofony analogowe produkowane w technologii MEMS. Sonar powinien udostępniać komunikację poprzez interfejs USB. Dostępna powinna być też możliwość konfiguracji jego pracy, tzn. ilość pobudzeń generujących emitowany sygnał oraz czas opóźnienia przejścia w tryb odbioru. W ramach niniejsze pracy należy też zrealizować podstawowe oprogramowanie dla komputera typu PC, które pozwoli sterować sonarem, wykonać niezbędne pomiary oraz obliczenia. Dysponując tym oprogramowaniem należy przeprowadzić serię eksperymentów, które pozwolą zbadać i zweryfikować podstawowe własności sonaru. Ponadto oprogramowanie mikrokontrolera należy zdokumentować w systemie doxygen.

Rozdział 3

Przegląd czujników ultradźwiękowych

3.1 Dobór odbiornika

Wymagania jakie powinien spełniać odbiornik wynikają bezpośrednio z założeń projektu. Pierwszym z nich jest czułość przetwornika na częstotliwości ultradźwiękowe. Na rysunku 3.1 widzimy przykładowy wykres pasma przenoszenia mikrofonu w odniesieniu do częstotliwości 1 kHz. W przypadku docelowego czujnika istotna jest czułość w wąskim paśmie 40 kHz. Czułość ta nie powinna znacząco odbiegać poniżej czułości referencyjnej, a w tym przypadku wynosi -2 dB, co jest akceptowalną wartością. Dokładna częstotliwość podyktowana jest głównie standardami branży. Większość przetworników piezoelektrycznych, służących do generowania sygnału ma swój punkt rezonansu w wąskim paśmie bliskim 40 kHz.



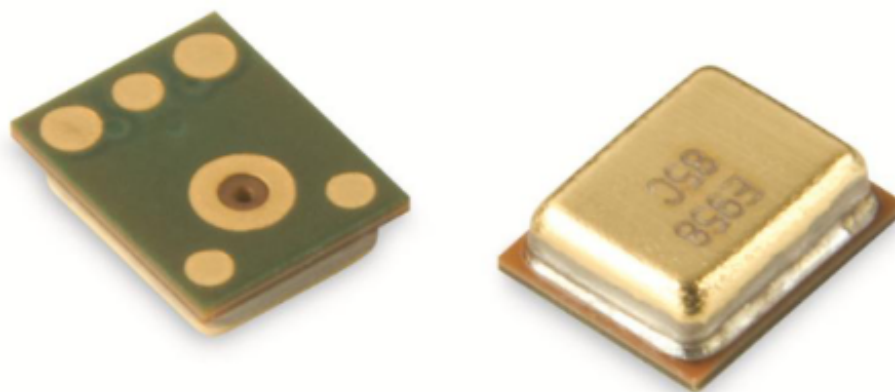
Rysunek 3.1 Pasma przenoszenia mikrofonu SPU0410LR5H-QB

Następnym wymaganiem jest rozmiar. Wynika to z rodzaju pomiaru fali dźwiękowej, każdy z czujników wykrywa przecięcie sygnału z układem odniesienia. Odbiorniki nie powinny być oddalone od siebie bardziej niż połowa długości fali dźwiękowej. Czujniki mogłyby w przeciwnym razie wykrywać przecięcia z różnych okresów fali uniemożliwiając całkowicie obliczenie kąta padania. Długość fali jest zależna od częstotliwości sygnału oraz jego prędkości rozchodzenia się w danym medium. Wyznaczamy ją ze wzoru 3.1 przy czym częstotliwość jest równa 40 kHz, a prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu przy temperaturze 15 °C wynosi 340,3 m/s [Wik]. Połowa długości fali to zatem 4,25 mm i tej wartości nie powinna przekraczać odległość między odbiornikami. Wszystkie czujniki tak małych rozmiarów są produkowane w technologii MEMS.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{40 \text{ kHz}} = 0,0085 \text{ m} = 8,5 \text{ mm} \quad (3.1)$$

Kolejnym wymaganiem jest takie umieszczenie otworu ciśnieniowego w obudowie, by skierowany był on wewnątrz laminatu obwodu drukowanego. Taka konstrukcja jak na rysunku 3.2 pozwala na stworzenie płaskiej powierzchni, tylko z otworami ciśnieniowymi czujników. Przekłada się to na mniejsze zakłócenia spowodowane odbiciami fali dźwiękowej od elementów elektronicznych.

cite microphone data-sheet



Rysunek 3.2 Mikrofon SPU0410LR5H-QB

Ostatecznym wymaganiem była dostępność i przystępność cenowa produktu. Ze względu na tak rygorystyczne oczekiwania wybór zawęził się zaledwie do kilku pozycji. Jedną z nich był mikrofon SPU0410LR5H-QB marki Knowles[kno], który w odpowiedniej ilości został dostarczony przez Promotora.

3.2 Komercyjne rozwiązania

Na rynku znajduje się bardzo dużo ultradźwiękowych czujników odległości, ale względnie niewiele firm oferuje sonary bez ruchomych elementów. Czołowym producentem urządzeń w takiej technologii jest TOPOSENS ze swoim produktem o nazwie ECHO ONE®. Rysunek 3.3, który jest zdjęciem marketingowym produktu, sugeruje, że posiada on ultradźwiękowy nadajnik oraz trzy odbiorniki we wzorze tworzącym kąt prosty.



Rysunek 3.3 TOPOSENS ECHO ONE, źródło: <https://toposens.com/>

Rozdział 4

Analiza problemu

4.1 Generowanie i odbieranie sygnału ultradźwiękowego

Od nadajnika wymaga się, by był zdolny do emitowania mocnego sygnału tylko dla jednej częstotliwości określonej w rozdziale nr 2. Do tego celu idealnie nadają się przetworniki piezoelektryczne o częstotliwości rezonansowej 40 kHz. W celu zwiększenia wydajności takiego przetwornika, konieczne jest podniesienie jego napięcia pracy. Powinno zostać to zrealizowane za pomocą wzmacniacza prądowego oraz transformatora. Sterownik nadajnika musi pozwalać na wygenerowanie dokładnie określonej ilości impulsów. Mechanizm ten umożliwia urządzeniu wykonywać sekwencje odczytu o różnych parametrach, które mogą mieć wpływ na jakość danych wyjściowych. Ze względu na wybranie mikrofonu o bardzo szerokim paśmie przenoszenia, konieczne jest zastosowanie filtrów pasmowych. Muszą mieć one szczyt skuteczności w punkcie częstotliwości nadajnika, pozwoli to na rozróżnienie sygnału docelowego od innych zakłóceń oraz szumu tła.

4.2 Rozmieszczenie elementów nadawczych i odbiorczych

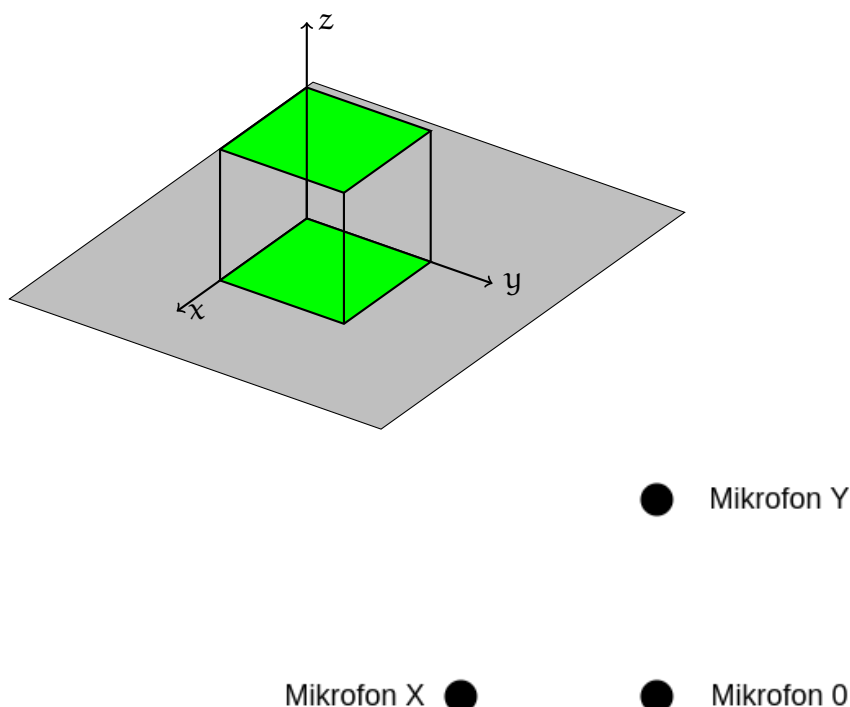
Rozmieszczenie odbiorników jest kluczowym elementem pomiaru, to dzięki znajomości odległości mikrofonów i różnic w czasach dotarcia sygnału jesteśmy w stanie określić kąt pod którym fala dźwiękowa trafia do urządzenia. Do uzyskania pełnego zakresu w trzech osiach, wymagane są co najmniej trzy odbiorniki:

- Mikrofon 0 – mikrofon odniesienia, znajduje się on w centralnym punkcie, to według niego wyznacza będzie odległość od obiektu.
- Mikrofon X – na podstawie pomiaru z tego mikrofonu wyznacza się kąt odchylenia w osi X
- Mikrofon Y – na podstawie pomiaru z tego mikrofonu wyznacza się kąt odchylenia w osi Y

używany sygnał wąskopasmowy idealny do tego jest piezo

zacytować pracę dr Kreczme-
ra z wyja-
śnieniem i
wzorami

to nie do
konca praw-
da, wyjaśnić



Rysunek 4.1 Rozmieszczenie mikrofonów

4.3 Komunikacja

Komunikacja komputera typu PC z płytą deweloperską STM32 Nucleo L476rg na której bazowany jest projekt odbędzie się przy pomocy portu szeregowego. Każdy nowoczesny komputer posiada złącze USB, które miało niezwykle wpływ na standaryzacje interfejsów w urządzeniach użytkowych, większość płytek deweloperskich również posiada wbudowane gniazdo USB z portem szeregowym, dlatego też wybór tego rodzaju komunikacji wydają się wręcz oczywistą decyzją. Tym samym złączem wgrywany jest również program do pamięci mikrokontrolera co jeszcze bardziej upraszcza stanowisko testowe. Dane będą wysyłane w postaci tekstu w formie „pytanie-odpowieź”, zagwarantuje to większą elastyczność i możliwość zmiany parametrów urządzenia bez konieczności zmiany programu.

Rozdział 5

Specyfikacja realizacji sonaru ultradźwiękowego

W tej części trzeba podać jakie będą udostępniane funkcjonalności, jak mają być realizowane pomiary, jakie polecenia będzie można przysyłać do urządzenia, przewidywane parametry, np. częstość powtórzeń pomiarów, zakres zmiany ilości sygnałów pobudzenia, zakres zmian wypełnienia impulsów itp.

Rozdział 6

Projekt konstrukcji sonaru oraz protokoły komunikacji

6.1 Schemat funkcjonalny

Założenia konstrukcyjne to przede wszystkim prostota budowy, modularność i skrócenie czasu realizacji. Płytk deweloperska wysyła określoną przez użytkownika liczbę przebiegów sygnału PWM (Pulse Width Modulation), następnie sygnał jest ten wzmacniany do poziomu aż 80 V by uzyskać maksymalną wydajność i trafia na przetwornik piezoelektryczny który generuje falę ultradźwiękową. Fala ta po odbiciu się od obiektu w polu wykrywania sonaru trafia z powrotem do urządzenia a konkretniej do mikrofonów MEMS umieszczonych na czole obudowy. Sygnał z mikrofonów jest filtrowany by przepuścić tylko pożądane przez nas częstotliwości bliskie częstotliwości nadajnika, oraz wzmacniany w celu lepszej interpretacji przez dalsze układy.

Po przefiltrowaniu, sygnał jest progowany. Mikrokontroler za pomocą przetwornika DAC ustala poziom napięcia, który wyznaczy granicę pomiędzy wysokim a niskim stanem logicznym. To rozróżnienie jest nam potrzebne do pobudzenia cyfrowego wejścia licznika, zmienność tej wartości pozwala nam również na reagowanie tylko na sygnał o odpowiedniej amplitudzie by móc z powrotem obniżyć próg do miejsca przecięcia się sinusoidy z napięciem odniesienia, gdzie dokładność pomiaru jest największa. Mikroprocesor dzięki wspomnianym wcześniej licznikom odmierza czas między zboczami rosnącymi sprogowanego już sygnału. Wszystkie pomiary czasów przecięć z trzech odbiorników są wysyłane we wspólnej ramce danych do komputera gdzie za pomocą różnic w tych czasach wyznaczony zostanie dystans obiektu oraz jego odchylenie względem sonaru.

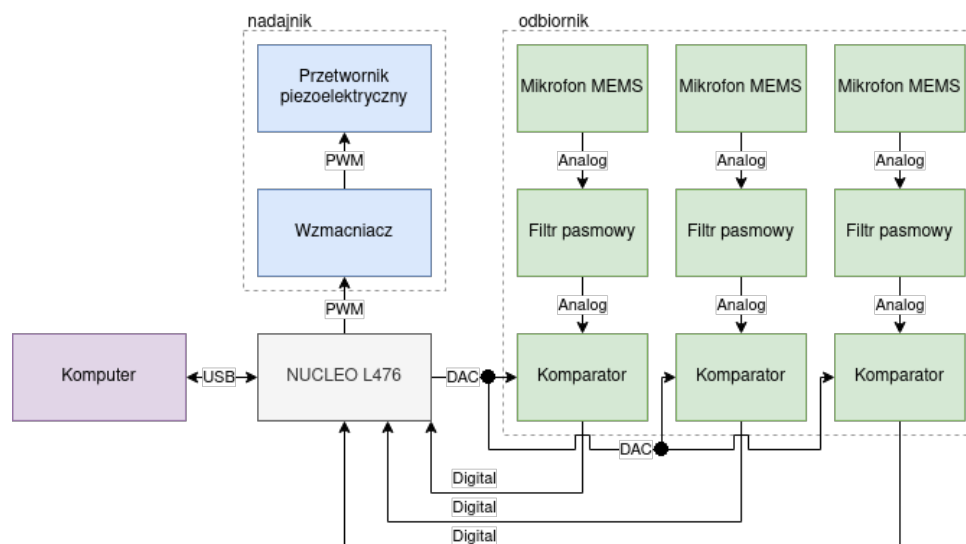
dać plan na
sma koniec
rozdziału

6.2 Komunikacja

6.2.1 Wybór protokołu

Wybrany został protokół UART, ze względu na to, że płytk deweloperska STM32 NUCLEO-L476RG z której skorzystano w projekcie posiada wbudowany konwerter UART→ USB, co pozwala na skomunikowanie mikrokontrolera z komputerem bez

tutaj dać ten
nadmiar tek-
stu z analizy



Rysunek 6.1 Schemat blokowy urządzenia

dodatkowego sprzętu.

W celu uruchomienia sekwencji wykrywania obiektu operator powinien wysłać komendę przykładowo o nazwie "START". Komenda taka posiadać będzie swoje ID w formie pojedynczej cyfry, pozwoli to zmniejszyć ilość znaków zamieszczanych w ramce danych. Komunikacja tekstowa przede wszystkim pozwala na weryfikację danych przez standardowy terminal tekstowy. Ramka danych rozpocznie się znakiem „X”, pomoże to programowi odfiltrować tylko dane przeznaczone dla niego. „X” został wybrany ze względu na to, że znak ten na pewno nie będzie występował w treści wiadomości w żadnej postaci. Wiadomość startu wraz z opcjonalnymi parametrami takimi jak ilość impulsów do wyemitowania czy próg czułości wykrywania sygnału wysłane są bajt po bajcie do urządzenia. Sonar rozpoznając znak początku ramki przechodzi dalej do odczytywania ID komendy oraz jej parametrów, po odebraniu całej wiadomości program zaczyna sekwencję pomiaru. Następnie urządzenie wysyła do użytkownika odpowiedź, standardowo zaczyna znakiem rozpoznawczym a następnie zwraca numer ID komendy na którą ta wiadomość jest odpowiedzią, status wykonania zadania, w formie kodów błędów, liczba wykrytych przecięć zer, czas kontrolny, oraz wartości liczników z każdego ze składowych pomiaru. Dane będą przetwarzane przez operacje na obiektach typu string. Pozwoli to na wycięcie odpowiednich wartości ze scalonej ramki wysłanej jako jeden długi ciąg znaków.

sprawdzić czy na pewno

6.2.2 Komputer → sonar

Użytkownik systemu może wysłać z komputera instrukcję do wywołania całej sekwencji działania urządzenia. Ramka danych zaczyna się znakiem, który nie będzie nigdy występował ułatwiającym rozpoznanie wiadomości, następnie musi zostać podany numer komendy informujący sonar jaką czynność powinien wykonać, parametry określające warunki tej czynności, a na koniec suma kontrolna wiadomości.

dodać ustawienie czasu bez pomiaru bo piezo drga po odcięciu zasilania

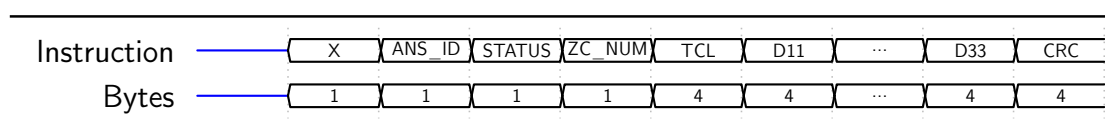
zrobić ładniejszą ramkę



Rysunek 6.2 Ramka danych przychodzących

6.2.3 Sonar → komputer

Sonar w odpowiedzi na instrukcję wysyła ramkę danych która również zaczyna się znakiem specjalnym, następnie podawany jest numer komendy na którą sonar odpowiada, status wykonania, dane pomiarowe oraz suma kontrolna.



Rysunek 6.3 Ramka danych wychodzących

6.3 Konstrukcja układów elektronicznych sonaru

Projekt bazuje na autorskiej płytce z obwodem drukowanym, który został zaprojektowany przy pomocy otwartoźródłowego narzędzia do projektowania elektroniki KiCad [KiC]. Całe urządzenie składa się z płytki deweloperskiej oraz zaprojektowanego na cele pracy dyplomowej PCB*, które jest podłączone do Nucleo w formie nakładki (ang. shield) poprzez listwy kołkowe. Całą elektroniczną część urządzenia można podzielić na kilka bloków, ze względu na spełniane funkcje. Do bloków tych zaliczamy sekcję zasilania, część nadawczą, blok odbiorczy. Ten ostatni zawiera zestaw filtrów sygnału odbieranego oraz komparatory progujące.

6.3.1 Zasilanie

Całe urządzenie zasilane jest z portu USB komputera, które jednocześnie służy do komunikacji. Przewód jest podłączony bezpośrednio do płytki deweloperskiej Nucleo, gdyż posiada ona już wbudowane złącze. Mimo, że płytka deweloperska posiada wyprowadzenia zarówno 5V jak i 3,3V, postanowiłem zaimplementować układ stabilizatora liniowego obniżającego napięcie do 3,3V w celu lepszej izolacji zasilania układów analogowych od cyfrowych co powinno przełożyć się na mniejsze zakłócenia.

6.3.2 Nadajnik

Rolę nadajnika pełni przetwornik piezoelektryczny o średnicy 16 mm i częstotliwości rezonansowej 40 kHz, która to jest poza spektrum słyszalnych częstotliwości.

*Printed Circuit Board

zrobić ładniejszą ramkę

(ang. rozwinięcie)

pokazać jak wygląda shield

poprawić odmianę

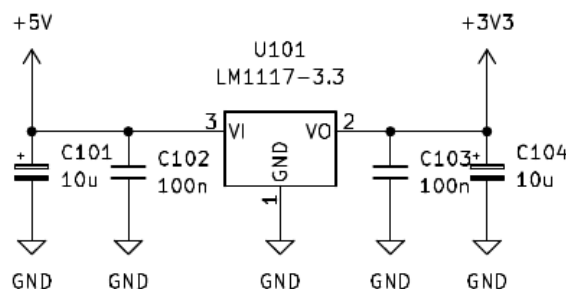
wstawić diagram funkcjonalny

model

dodać model przetwornika

opisać jaki zakres dla człowieka słychać

dodać źródło



Rysunek 6.4 Stabilizator napięcia



Rysunek 6.5 Nadajnik piezoelektryczny

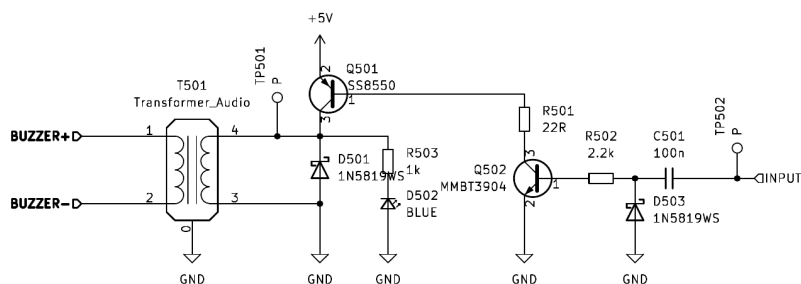
6.3.3 Wzmacniacz nadajnika

W celu uzyskania mocnego sygnału ultradźwiękowego z przetwornika piezoelektrycznego zaprojektowano układ wzmacniający z transformatorem. Sygnał nadający częstotliwość wysyłany jest z mikroprocesora, następnie jest wzmacniany parą tranzystorów, razem tworzących układ Darlingtona, który zapewnia duże wzmocnienie prądowe sygnału i zachowuje krótkie czasy przełączania charakterystyczne dla tranzystorów bipolarnych. Transformator w tym układzie służy do podniesienia napięcia które trafia na przetwornik, docelowo jest to nawet szczytowo 80 V co sprawia, że sygnał jest bardzo mocny. Układ posiada również zabezpieczenie przed zbyt długim czasem otwarcia tranzystora, sygnał jest przepuszczany przez kondensator, co sprawia, że tylko szybkozmienne przebiegi są w stanie dotrzeć na bazę klucza. Zbyt długa ekspozycja transformatora na przepływ prądu mogłaby go narazić na przegrzanie. Ze względu na indukcyjny charakter uzwojeń transformatora podczas szybkiej zmiany generowanego pola magnetycznego następuje konwersja tej energii do postaci prądu zwrotnego wyindukowanego na tej cewce, aby uchronić się przed niepożądanym działaniem tego zjawiska, równoległe z uzwojeniem pierwotnym sprzężona jest dioda Schottkiego, która pozwala zniwelować ten prąd. Dodatkowo jako element ułatwiający pracę nad urządzeniem, dodany został LED, który emituje światło w trakcie przepływu prądu przez transformator.

akapity

odwołanie do rysunku modelu dokładny

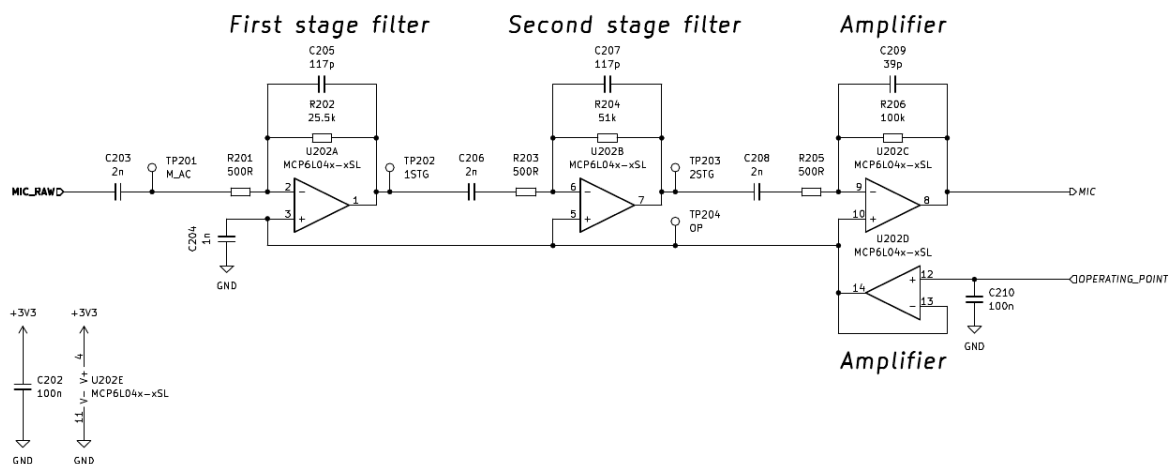
modele elementów



Rysunek 6.6 Wzmacniacz sygnału nadajnika piezoelektrycznego

6.3.4 Filtry sygnału audio

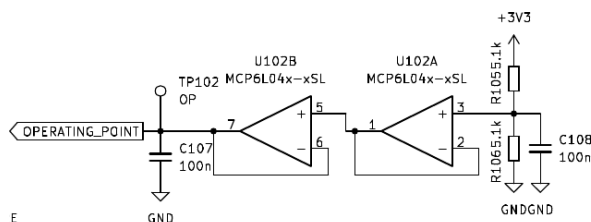
Przyjęto, że rolę odbiorników będą pełnić trzy dookólne mikrofony MEMS, które cechują się względnie liniową charakterystyką przenoszenia pasma. Dlatego też konieczne będzie zastosowanie dla każdego z nich zestawu filtrów pasmowych, które przepuszczą nam tylko i wyłącznie częstotliwości bliskie częstotliwości sygnału jaki generuje przetwornik piezoelektryczny, a zablokują wszystkie nieporządane. Pojedynczy stopień filtra, dawałby na wyjściu zbyt niski zakres poziomu napięć, z tego powodu sygnał przechodzi przez 3 stopnie wzmacniaczy operacyjnych. Takie rozwiązanie zarówno filtruje sygnał i wzmacnia go.



Rysunek 6.7 Zestaw filtrów dla sygnału z mikrofonów

Zazwyczaj układy analogowe oparte o wzmacniacze operacyjne zasilane są napięciem symetrycznym a sygnał przemienny oscyluje wokół potencjału masy. W tym wypadku ze względu na zakres napięciowy wejść mikroprocesora do zasilania wzmacniaczy operacyjnych zostało użyte pojedyncze napięcie 3,3V zamiast symetrycznego co oznacza, że chcąc uzyskać napięcie odniesienia w połowie zakresu zasilania należy ustalić je na poziomie 1,65V. Tę wartość ustala dzielnik napięcia z dwóch identycznych rezystorów, a wzmacniacz operacyjny zwiększa wydajność prądową takiego źródła.

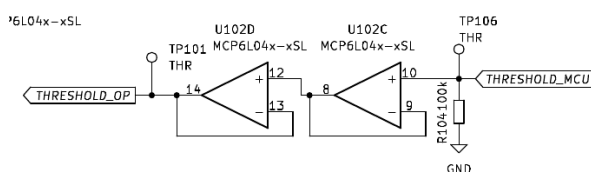
opisać ob-
szernie wy-
bór wzmac-
niaczy ope-
racyjnych



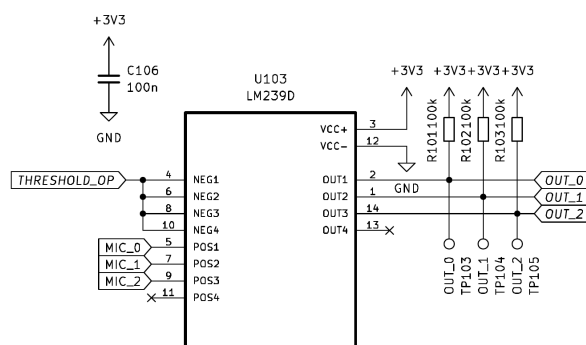
Rysunek 6.8 Wzmacniacz prądowy napięcia odniesienia

6.3.5 Progowanie sygnału

Wejścia licznika reagują na zbocza sygnału cyfrowego, co oznacza, że analogowy sygnał z wyjścia filtra musi zostać przetworzony na stany logiczne. Dokładna wartość napięcia nie jest potrzebna. Istotne są punkty przecięcia się sinusoidy z osią przebiegu. Takie zadanie idealnie spełnia komparator 6.10, próg od którego sygnał ma interpretować jako wysoki stan jest podawany w formie napięcia z przetwornika DAC mikrokontrolera dodatkowo wzmacnionego wzmacniaczem operacyjnym 6.9. Pozwala to na reagowanie tylko na falę dźwiękową o wystarczająco dużej amplitudzie, a po wykryciu mocnego sygnału wrócić z powrotem do poziomu napięcia odniesienia sygnału gdzie pomiar jest najdokładniejszy.



Rysunek 6.9 Wzmacniacz wartości progowej



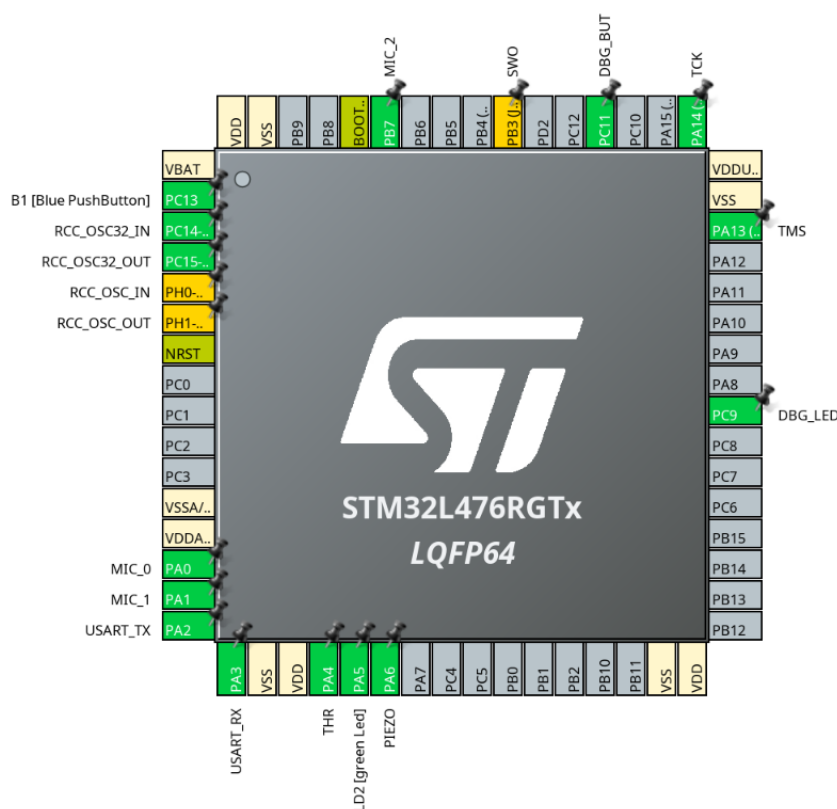
Rysunek 6.10 Czterokanałowy komparator

6.4 Konfiguracja mikrokontrolera

Mikrokontroler użyty w projekcie to STM32L476 został on wybrany ze względu na odpowiednią liczbę liczników, przetworników i interfejsów komunikacji. Jego

konfiguracja została przeprowadzona w programie STM32CUBEMX od firmy ST. Graficzny interfejs pozwala w łatwy sposób zmienić ustawienia peryferiów, taktowania zegarów systemowych czy nazwy zmiennych pomocniczych przydatnych na etapie programowania. Gotowa konfiguracja wejść i wyjść została przedstawiona na rysunku nr 6.11, gdzie przyjęto następujące oznaczenia:

- MIC_0 – pin do pomiaru sygnału z mikrofonu nr 0
- MIC_1 – pin do pomiaru sygnału z mikrofonu nr 1
- MIC_2 – pin do pomiaru sygnału z mikrofonu nr 2
- THR – pin generujący napięcie progowania(thereshold) dla komparatora zewnętrznego
- PIEZO – pin sterujący przetwornikiem piezoelektrycznym
- DBG_LED – pin obsługujący diodę diagnostyczną
- DBG_BUT – pin obsługujący przycisk diagnostyczny

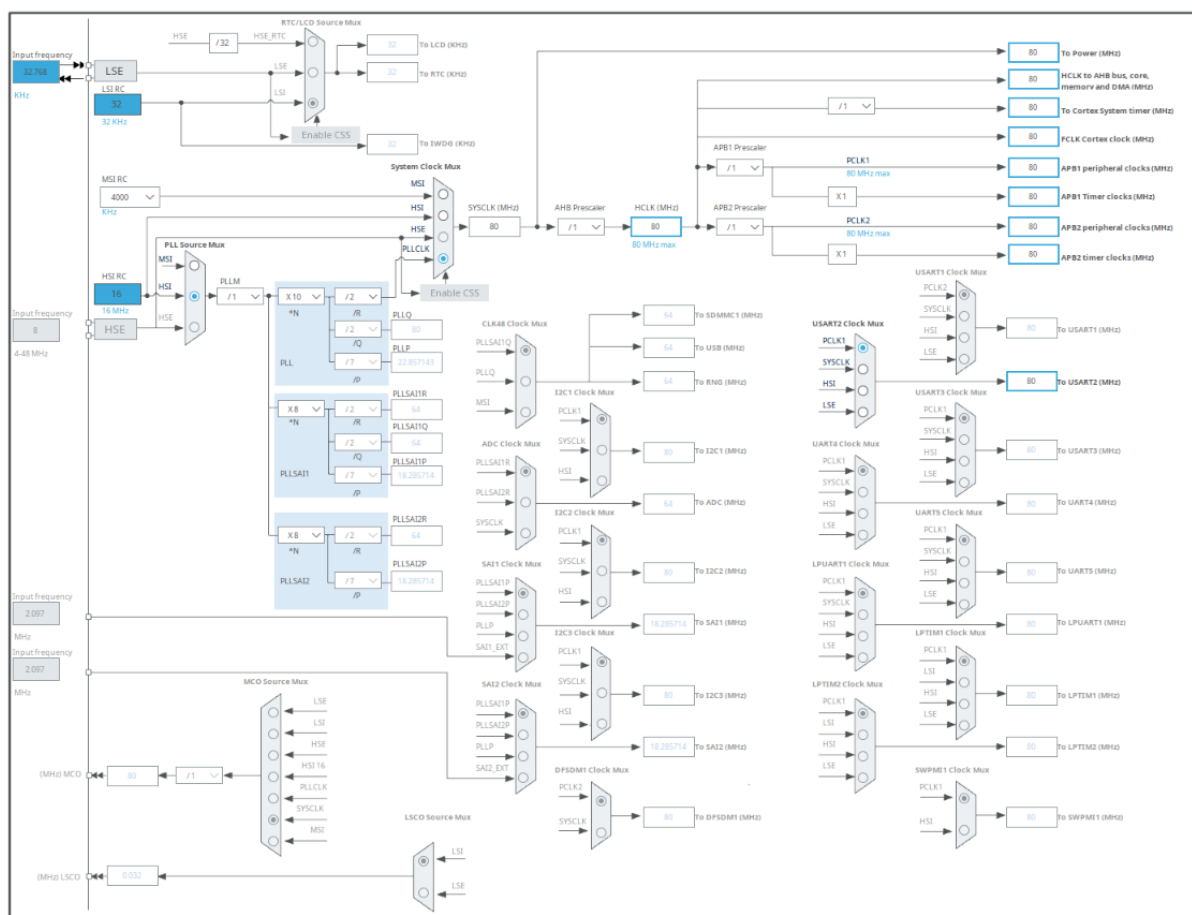


Rysunek 6.11 Konfiguracja pinów mikrokontrolera

Piny odpowiedzialne za pomiary sygnału z mikrofonów zostały skonfigurowane jako wejścia osobnych liczników. Została wykorzystana funkcja input capture, która wywołuje przerwanie za każdym razem jak wykryje zbocze rosnące sygnału. W

przerwaniu zaczytywana jest wartość licznika i przekazywana do bufora wiadomości. Wyjście o nazwie THR zostało skonfigurowane jako przetwornik DAC, jego celem jest wygenerowanie napięcia, które jest progiem wykrycia sygnału dla komparatora 6.10. Wartość ta podlega zmianie w trakcie pracy urządzenia, przez co użytkownik może dopasować czułość detektora. Przetwornik piezoelektryczny sterowany jest sygnałem PWM, licznik TIM16 został skonfigurowany do pracy w PWM Generation z dodatkową opcją One Pulse Mode. Oznacza to, że licznik wykona dokładnie jeden okres sygnału o zadanych parametrach. W celu powtórzenia impulsu wyznaczoną przez użytkownika liczbę razy wykorzystany został rejestr RCR (Repetition Counter). Elementy do debugowania zostały skonfigurowane jako zwykłe wyjście dla diody, oraz zwykłe wejście dla przycisku.

Taktowanie mikroprocesora zostało ustawiane na zalecaną wartość 80 MHz. Jak widać na rysunku nr 6.12 z tej wartości korzystają również wszystkie użyte w projekcie peryferia. Co ma znaczenie podczas obliczania np częstotliwości sygnału PWM czy konwertowaniu wartości licznika na czas rzeczywisty.

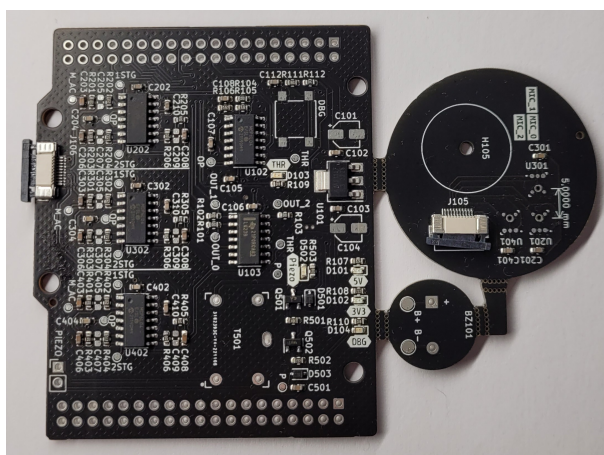


Rozdział 7

Realizacja sonaru ultradźwiękowego

Opis wykonanego urządzenia, zdjęcia. Przykłady realizacji komunikacji z urządzeniem.

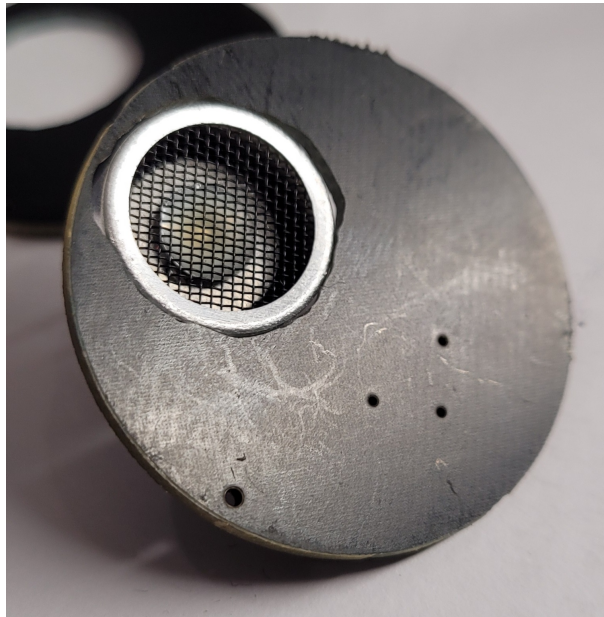
7.1 PCB



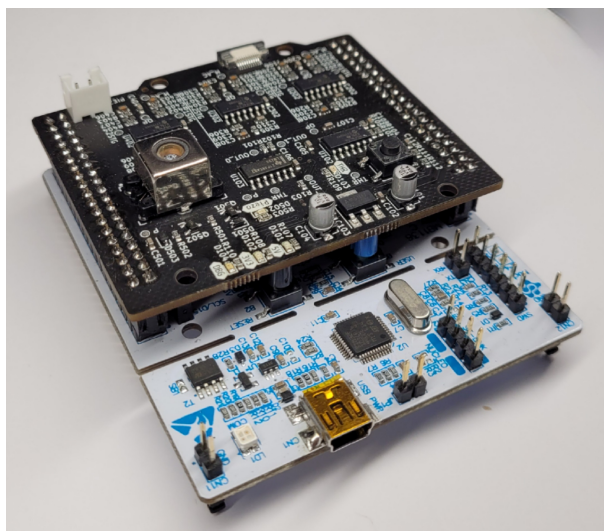
Rysunek 7.1 PCB

7.2 Moduł nadawczo-odbiorczy

7.3 shield



Rysunek 7.2 Moduł nadawczo-odbiorczy



Rysunek 7.3 Nakładka na Nucleo

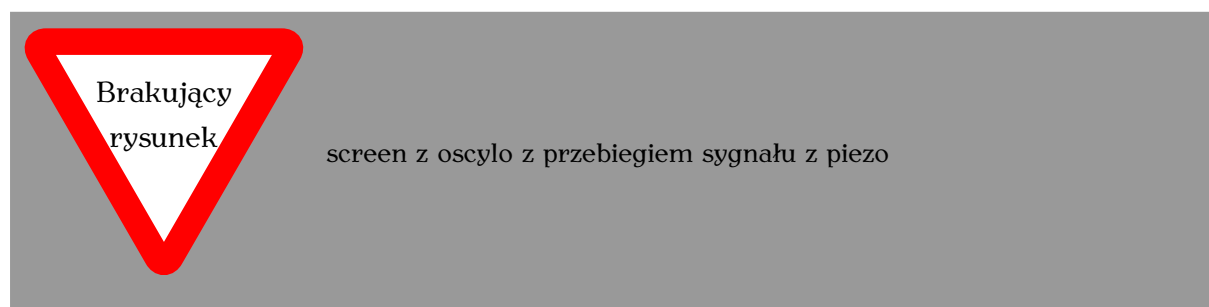
Rozdział 8

Testy i eksperymenty

Opis zrealizowanych eksperymentów, które demonstrują najważniejsze cechy urządzenia i czujnika.

8.1 Test przetwornika piezoelektrycznego

Pierwszym testem był test przetwornika, który jest nadajnikiem sygnału. Zasilono go bezpośrednio z generatora wbudowanego w oscyloskop, parametry zadane to sygnał sinusoidalny o napięciu 5 V „peak to peak” czyli wartości szczytowej. Elementem odbiorczym był inny przetwornik piezoelektryczny służący tylko do testów, został on umieszczony w odległości 10 cm od nadajnika. Jego częstotliwość rezonansowa również wynosiła 40 kHz. Po podłączeniu sondy oscyloskopu do odbiornika ukazał się bardzo wyraźny sygnał w kształcie sinusoidy ustawionej na nadajniku. Dźwięki otoczenia miały bardzo znikomy wpływ na zakłócenia, stanowiąc niewielki procent amplitudy. Zmiana częstotliwości o chociażby 1 kHz wiązała się kilkudziesięciokrotnym spadkiem mocy sygnału, co potwierdzało dane z noty katalogowej elementu piezoelektrycznego.

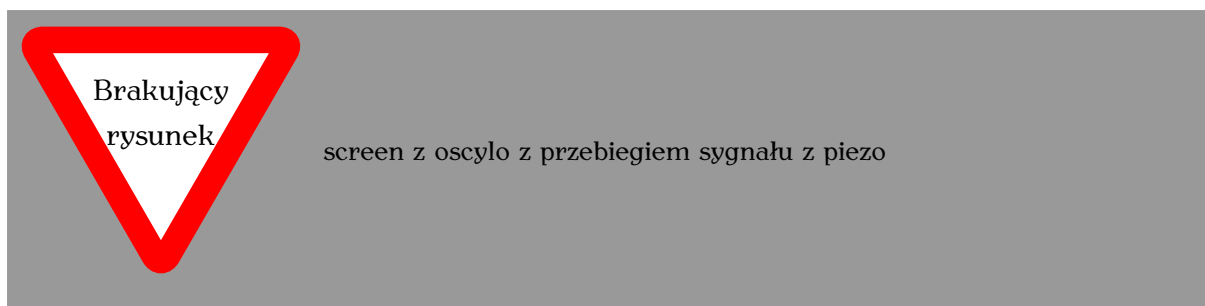


Rysunek 8.1 Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym

8.2 Test wpływu odległości na sygnał

Z identycznym stanowiskiem pomiarowym co sekcję wyżej sprawdzono wpływ odległości czujników na moc i przesunięcie fazy sygnału.

zdjęcie z oscylo z przesunię-
tym sygna-
łem i kilka
testów na
różne odle-
głości



Rysunek 8.2 Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym, wpływ na odległość

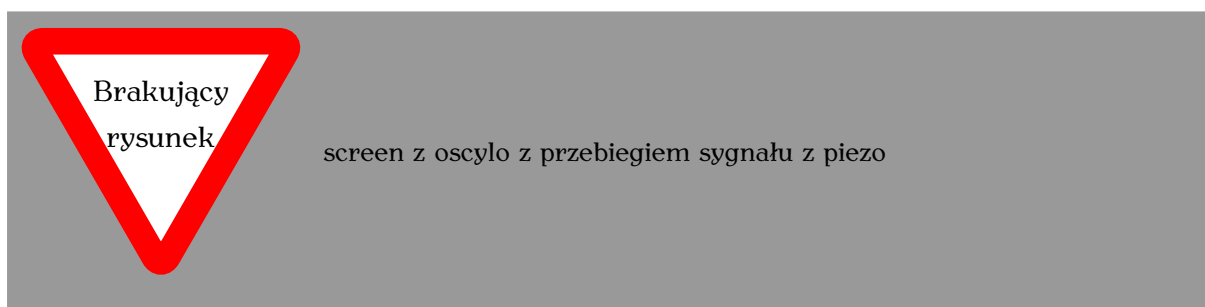
8.3 Pierwsze uruchomienie

PCB z przylutowanymi elementami zostało podłączone do zasilacza laboratoryjnego dostarczającego 5 V i ograniczeniem prądowym ustawionym na 100 mA. Pierwsze uruchomienie sterownika sonaru ujawniło drobny błąd projektowy, wszystkie diody elektroluminoescencyjne zostały przylutowane w złej polaryzacji. Szybka zmiana ustawień diod i następne uruchomienie, nie pokazywało oznak większych błędów. Pobór prądu wyniósł, a temperatura elementów na płytce nie odstawała od temperatury pokojowej.

???

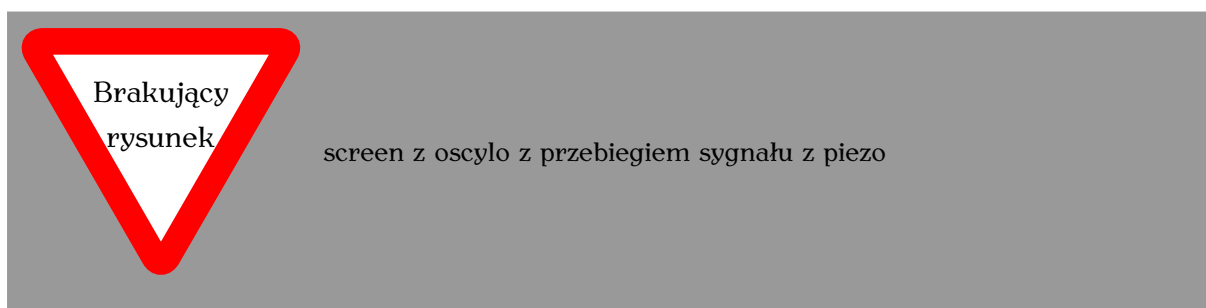
podać ile prądu ciągnie

8.4 Uruchomienie i test wzmacniacza sygnału przetwornika piezoelektrycznego



Rysunek 8.3 Nadajnik sterowany przez wzmacniacz

8.5 Test mikrofonów i filtrów



Rysunek 8.4 Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym

Rozdział 9

Podsumowanie i wnioski

Ten rozdział pisze się jako przedostatni. Ostatnim jest "Wstęp"

Literatura

[KiC] kicad. <https://www.kicad.org/>.

[kno] Knowles corporation (nyse: Kn) is a market leader and global provider of advanced micro-acoustic, audio processing, and precision device solutions, serving the ... <https://www.knowles.com/>.

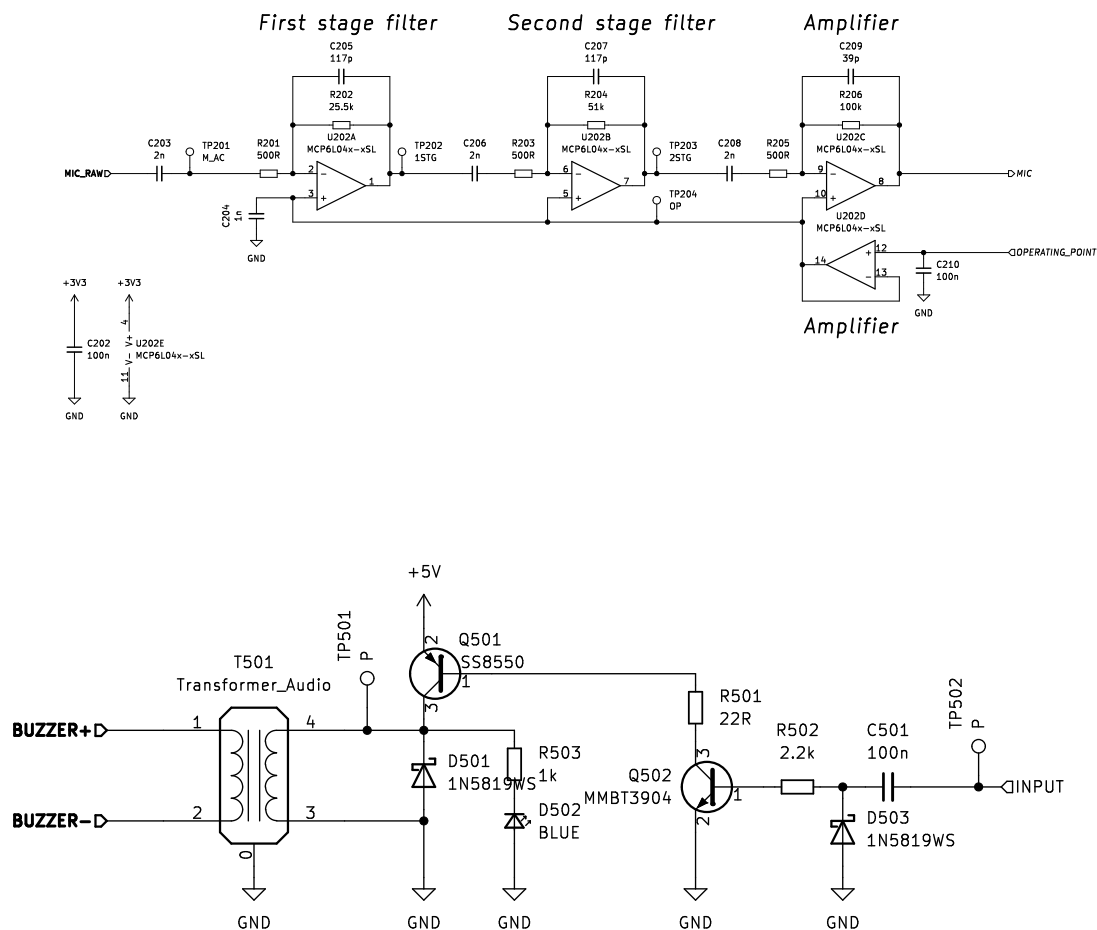
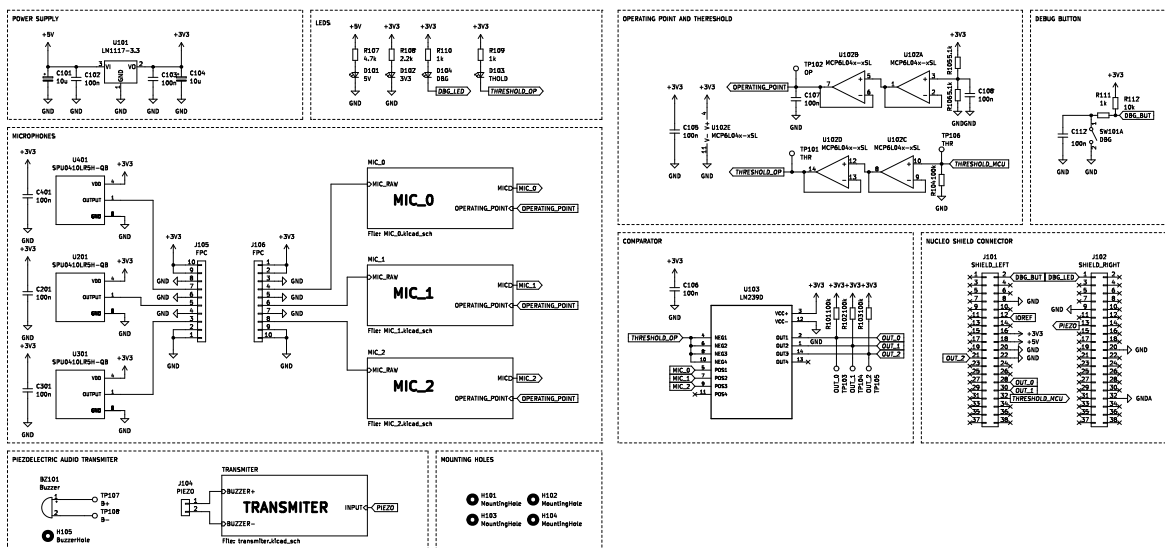
[Wik] Wikipedia. Prędkość dźwięku. https://pl.wikipedia.org/wiki/Pr%C4%99dko%C5%9B%C4%87_d%C5%BAwi%C4%99ku.

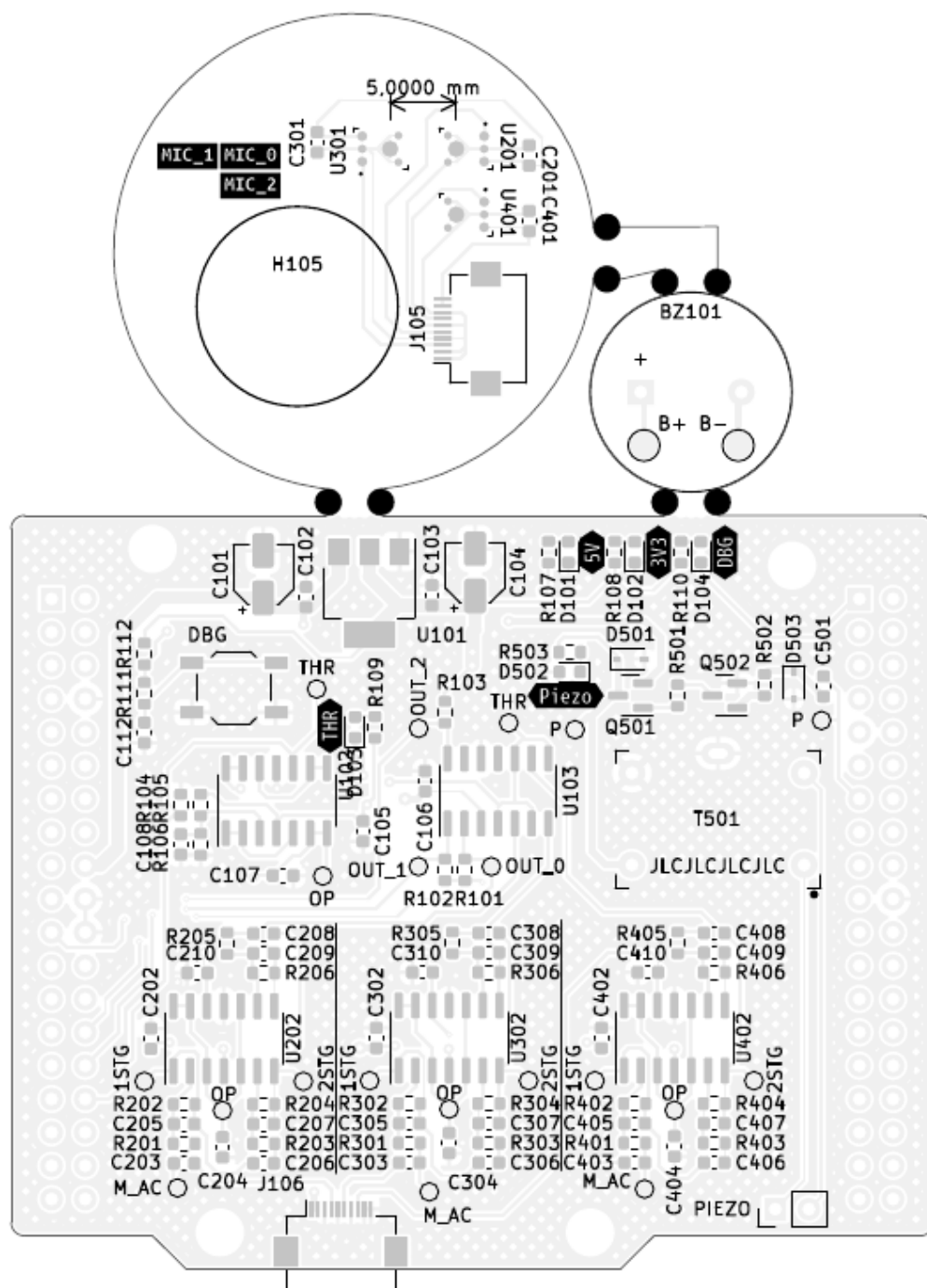
Spis rysunków

3.1	Pasmo przenoszenia mikrofonu SPU0410LR5H-QB	6
3.2	Mikrofon SPU0410LR5H-QB	7
3.3	TOPOSENS ECHO ONE, źródło: https://toposens.com/	8
4.1	Rozmieszczenie mikrofonów	10
6.1	Schemat blokowy urządzenia	13
6.2	Ramka danych przychodzących	14
6.3	Ramka danych wychodzących	14
6.4	Stabilizator napięcia	15
6.5	Nadajnik piezoelektryczny	15
6.6	Wzmacniacz sygnału nadajnika piezoelektrycznego	16
6.7	Zestaw filtrów dla sygnału z mikrofonów	16
6.8	Wzmacniacz prądowy napięcia odniesienia	17
6.9	Wzmacniacz wartości progowej	17
6.10	Czterokanałowy komparator	17
6.11	Konfiguracja pinów mikrokontrolera	18
6.12	Konfiguracja zegarów mikrokontrolera	19
7.1	PCB	20
7.2	Moduł nadawczo-odbiorczy	21
7.3	Nakładka na Nucleo	21
8.1	Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym	22
8.2	Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym, wpływ na odległość	23
8.3	Nadajnik sterowany przez wzmacniacz	23
8.4	Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym	24

Dodatek A

Schematy i noty katalogowe





Do zrobienia

cite microphone datasheet	7
używany sygnał wąskopasmowy idealny do tego jest piezo	9
zacytować pracę dr Kreczmera z wyjaśnieniem i wzorami	9
to nie do końca prawda, wyjaśnić	9
dać plan na sma koniec rozdziału	12
tutaj dać ten nadmiar tekstu z analizy	12
sprawdzić czy na pewno	13
dodać ustalenie czasu bez pomiaru bo piezo drga po odcięciu zasilania	13
zrobić ładniejszą ramkę	13
zrobić ładniejszą ramkę	14
(ang. rozwinięcie)	14
pokazać jak wygląda shield	14
poprawić odmiane	14
wstawić diagram funkcjonalny	14
model	14
dodać model przetwornika	14
opisać jaki zakres dla człowieka błabła	14
dodać źródło	14
akapity	15
odwołanie do rysunku model dokładny	15
modele elementów	15
opisać obszernie wybór wzmacniaczy operacyjnych	16
...	22
Rysunek: screen z oscylo z przebiegiem sygnału z piezo	22
zdjęcie z oscylo z przesuniętym sygnałem i kilka testów na różne odległości	22
Rysunek: screen z oscylo z przebiegiem sygnału z piezo	23
???	23
podać ile prądu ciągnie	23
Rysunek: screen z oscylo z przebiegiem sygnału z piezo	23
Rysunek: screen z oscylo z przebiegiem sygnału z piezo	24